

Cobre Panamá

Informe Semestral de Restauración Ecológica en el Proyecto Mina de Cobre Panamá

Periodo de octubre 2022 a marzo de 2023

Fecha de Emisión	Revisión	Descripción	Elaborado por:		Revisado y Aprobado por:	
08/05/2023	0	Informe Técnico	Christel Ramos **Botánico de Medio Ambiente**		Blanca Araúz **Superintendente de Medio Ambiente**	



PROYECTO MINA DE COBRE PANAMA

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL (EsIA) CATEGORIA III

Informe Semestral de Restauración Ecológica

Compromisos de EsIA Aplicables	Periodo reportado	Elaborado por	Fecha de Emisión del
13230 13234 13237	Octubre 2022 a Marzo 2023	MINERA PANAMA S.A.	08/05/2023

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN 6
2. OBJETIVOS..7
3. MATERIALES Y MÉTODOS 7
3.1. Establecimiento de parcelas de restauración ecológica 7
3.1.1 Parcela Km 18 + 500 (Código B-PRE-003) 7
3.1.2 Parcela MSA (Código B-PRE-009)... 8
3.1.3 Parcela Km 19+700 (Código B-PRE-002) 9
3.2. Monitoreo de parcelas de restauración ecológica 10
3.2.1 Parcela Km 18 + 500 (Código B-PRE-003) 10
3.2.2 Parcela MSA (Código B-PRE-009)...11
3.2.3 Parcela Km 19 + 700 (Código B-PRE-002) 11
3.3. Mantenimiento de parcelas de restauración ecológica...11
3.4 Ensayos de restauración ecológica 12
3.4.1 Aplicación de fertilizantes en especies arbóreas nativas (Código B-PRE-037)..........13
3.4.2 Prueba de siembra directa de plantas (Código B-PRE-043)....................................14
3.4.3 Prueba de capa orgánica en Botadero Sur, Tajo Botija (B-PRE-042).......................14
3.4.4 Perchas artificiales de aves...15
3.5. Registro de la Información y Análisis de datos 17
4. RESULTADOS...19
4.1 Monitoreo de parcelas de restauración ecológica 19
4.1.1 Parcela Km 18 + 500 (Código B-PRE-003) 19
4.1.2 Parcela Km 19 + 700 (Código B-PRE-002) 20
4.1.3 Parcela MSA (Código B-PRE-009)..22
4.2. Ensayos de restauración ecológica 23
4.2.1 Ensayos con fertilizantes en la parcela del Tajo Botija, Botadero Sur (B-PRE-037) ..23
4.2.2 Siembra directa de plantones en parcela del Tajo Botija, Botadero Sur (B-PRE-043) 26
4.2.3 Prueba de capa orgánica en parcela del Tajo Botija, Botadero Sur (B-PRE-042)......28
4.2.4 Perchas artificiales de aves...29
4.3 Sobrevivencia y desempeño de especies nativas..32
5. CONCLUSIONES 33
6. BIBLIOGRAFÍA 34
7. ANEXOS..36

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Modelo de la parcela de MSA demarcada en cuadrantes 20x20 m y 16 sub-cuadrantes de 5x5 m. 8

Figura 2. Mapa de ubicación de ensayos en parcelas experimentales de Botadero Sur, Tajo Botija..... 12

Figura 3. Esquema de cuadrante de capa orgánica de 3x9 metros. 15

Figura 4. Ubicación de perchas artificiales para aves..... 16

Figura 5. Estructura de percha sencilla con cámara trampa. 17

Figura 6. Ortofoto (2022) de parcela Km 19 + 700 (B-PRE-002). 21

Figura 7. Vista parcial de la parcela Km 19 + 700. 21

Figura 8. Epífitas sobre tronco de árbol en parcela Km 19 + 700. 21

Figura 9. Número de individuos sobrevivientes por año de siembra contabilizados durante este periodo de monitoreo. En el gráfico se muestra el total de plantas sembradas (barra azul), plantas de regeneración o reclutas (barra anaranjada) contabilizadas en este periodo. 22

Figura 10. Sobrevivencia de especies resembradas en la parcela de restauración en el año 2022. La letra P indica la cantidad de plantas sembradas, letra R la cantidad de plantas reclutas. Los números indican el año de siembra o establecimiento de reclutas. 23

Figura 11. Porcentaje de supervivencia de las especies sembradas bajo diferentes tratamientos de fertilizantes. 24

Figura 12. Sobrevivencia de especies nativas sembradas con diferentes tratamientos con fertilizantes..... 24

Figura 13. Porcentaje de supervivencia de especies nativas en diferentes fertilizantes. 25

Figura 14. Crecimiento de las plantas en altura (cm), ancho de copa (cm) y diámetro de cuello de raíz (mm) bajo diferentes fertilizantes. 25

Figura 15. Crecimiento de especies nativas en altura (cm), ancho de copa (cm) y diámetro de cuello de raíz (mm) bajo diferentes fertilizantes 26

Figura 16. A. Subcuadrante de control (saprolita). B. Subcuadrante con capa orgánica. 28

Figura 17. Especies arbóreas identificadas en subcuadrantes con capa orgánica. 29

Figura 18. Cantidad de visitas y especies registradas en las cámaras trampa de las perchas artificiales de aves. 29

Figura 19. Algunas especies de aves registradas en las cámaras trampa de las perchas artificiales. 30

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Proporciones de fertilizantes utilizados por tratamiento y aplicación en la parcela. 13

Tabla 2. Plantas de interés monitoreadas en parcela Km 18+500 (B-PRE-003) 19

Tabla 3. Individuos arbóreos monitoreados en parcela Km 19+700 20

Tabla 4. Plantas sembradas en la parcela B-PRE-43 provenientes de la vegetación circundante 27

Tabla 5. Especies de aves y su dieta registrados en las cámaras trampa de ñas perchas artificiales. 31

1. INTRODUCCIÓN

La restauración ecológica es una actividad deliberada que inicia o acelera la recuperación de un ecosistema con respecto a su salud, integridad y sostenibilidad. Las intervenciones que se emplean en la restauración varían mucho de un proyecto a otro, dependiendo de la extensión y la duración de las perturbaciones pasadas, de las condiciones culturales que han transformado el paisaje y de las oportunidades y limitaciones actuales. La meta final del proceso es garantizar que las funciones y los procesos ecológicos sean similares al ecosistema original a través del tiempo (SER, 2004).

El éxito de la restauración de un bosque tropical se mide en la recuperación de la biodiversidad, la biomasa y la productividad primaria, la materia orgánica del suelo, la capacidad de almacenamiento del agua y el regreso de las especies raras que son claves para reestablecer la estructura y las funciones del ecosistema (Elliott, Blakesley y Hardwick, 2013).

El proceso de restauración ecológica suele ser muy dinámico e involucra adquirir información necesaria para la toma de decisión y el mejoramiento de metodologías aplicadas. Por tal razón, es importante el establecimiento de parcelas experimentales para desarrollar modelos de restauración que nos permitan garantizar que las funciones y los procesos ecológicos sean similares al ecosistema original a través del tiempo; y de gran interés resulta dar seguimiento a los monitoreos de las especies plantadas en el sitio, que permitan evaluar su desarrollo y evolución en respuesta de las condiciones climáticas y la composición del suelo que se presentan en el lugar.

Minera Panamá S.A., tiene como parte de sus compromisos ambientales la restauración de áreas dentro de la huella del Proyecto, la cual será ejecutada gradualmente durante el período de vida activa de la mina (aprox. 30 años), a medida que se culmine el trabajo del proyecto en áreas específicas.

2. OBJETIVOS

- Cumplir con los compromisos establecidos en el EsIA Cat III, que aseguren el éxito de la restauración del Proyecto Mina de Cobre Panamá.
- Implementar el monitoreo (mortalidad, crecimiento y otros indicadores de las especies) de las parcelas establecidas.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Establecimiento de parcelas de restauración ecológica

3.1.1 Parcela Km 18 + 500 (Código B-PRE-003)

En el año 2015 fue realizada la siembra de plantones, posterior a la hidrosiembra con *Brachiaria decumbens.* El suelo de la parcela está compuesto de arcilla roja con rocas, y cuenta con barreras de contención y canales de desagüe para evitar la erosión del suelo.

La vegetación remanente que se encuentra detrás de la parcela comprende especies heliófitas como *Ochroma pyramidale*, *Cecropia* sp., *Croton billbergianus*, *Isertia haeckeana*, *Isertia laevis, Piper aduncum, Piper auritum*, *Vismia macrocarpa,* entre otras. La especies herbáceas y rastreras regeneradas registradas en la parcela comprenden *Lycopodiella cernua, Cyperus luzulae, Ludwigia octovalvis* y el helecho *Pityrogramma calomelanos,* entre otras.

Las especies sembradas en esta parcela comprenden especies pioneras (de crecimiento rápido y tolerantes al sol), y también especies de arbustos del sotobosque y árboles (de crecimiento lento). La metodología de siembra consistió en disponer una línea de siembra perpendicular a la parcela, con un distanciamiento de dos (2) metros. En septiembre de 2019 fue realizada una segunda plantación de especies nativas provenientes del vivero, donde se sembraron plantones en el espacio entre cada línea de siembra de los que fueron plantados en 2015. Estas plantas fueron sembradas sin llevar un orden ni distanciamiento específico.

En esta parcela se insertaron diez (10) especies de interés (EdI) del proyecto, entre hierbas, árboles y arbustos tales como: *Synechanthus dasystachys*, *Zamia skinneri, Cassipourea undulata, Posoqueria laevis, Trichodrymonia peltatifolia, Eugenia arrhaphocalyx, Calathea gordonii, Mabea tenorioi* y *Palicourea roseocremea*.

3.1.2 Parcela MSA (Código B-PRE-009)

En noviembre de 2019 se realizó el establecimiento de la parcela de MSA, ubicada en el área del taller de equipos pesados de IIASA, en el área denominada Área de Suministro de Materiales (MSA, por sus siglas en inglés), y diagonal a la garita MSA de entrada al Tajo de Botija; entre los 08°50´55.9” Norte y los 80°39´44.7” Oeste. La parcela, orientada hacia el Noroeste, mide aproximadamente 0.6 hectáreas y está conformada por dos fajas de 20x140 metros, cada una de las cuales contiene siete cuadrantes de 20x20 metros, numerados de acuerdo con la coordenada del vértice inferior izquierdo. De igual manera, cada uno de estos cuadrantes 20x20 metros están divididos en 16 subcuadrantes de 5x5 metros (Figura 1).

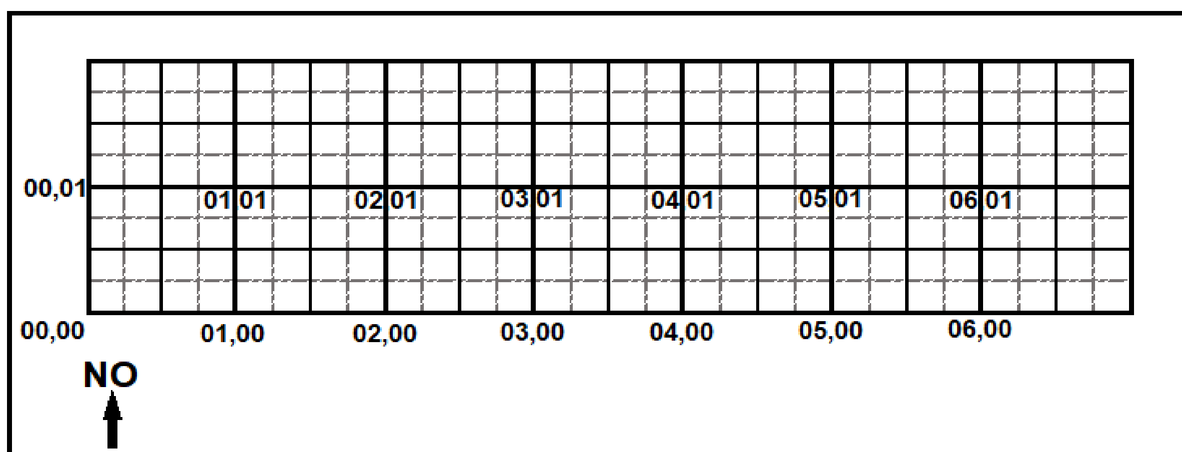


Figura 1. Modelo de la parcela de MSA demarcada en cuadrantes 20x20 m y 16 sub-cuadrantes de 5x5 m.

El suelo de la parcela MSA está compuesto de material de arcilla roja y rocas, con una inclinación aproximada de 20 grados. Como medidas de control de erosión, el sitio fue hidrosembrado con *Brachiaria decumbens*; además se instalaron barreras de contención y canales de desagüe, por parte del personal de Servicios Ambientales.

Previo a la siembra de plantones, el suelo se preparó aplicando una mezcla con hidróxido de calcio (cal hidratada), fertilizante orgánico (compost) y fertilizante químico (12-24-12). Para esto la parcela fue dividida en dos partes iguales, en una de las partes fue añadido 90 libras de compost y en la otra, 10 quintales de fertilizante químico. Para cada aplicación con fertilizante fue añadido 375 kilogramos de cal hidratada. También fue medido el pH del suelo antes y después de haberse realizado la hidrosiembra con los respectivos fertilizantes.

La siembra de plantones se realizó sin un arreglo específico; es decir, que los plantones fueron sembrados de manera que no llevaran una línea ordenada de siembra, ni tampoco con un distanciamiento específico entre plantones. Entre las especies que fueron plantadas en la parcela se encuentran plantas de especies pioneras, y también de árboles y arbustos del sotobosque.

3.1.3 Parcela Km 19+700 (Código B-PRE-002)

A principios del año 2017 se realizó el levantamiento de la información de la parcela de restauración en el área de la carretera del Pipeline (carretera de tuberías). La parcela de restauración se encuentra ubicada dentro del área de concesión del proyecto a orillas de la carretera de tuberías entre los 08̊ 53’27.4” Norte y 80̊ 38’42.4” Oeste. La parcela mide 0.6 hectáreas (100 metros de largo por 60 metros de ancho) se estableció en el 2015 y fue demarcada con ayuda de una brújula, estacones y cinta métrica para formar cada una de las subparcelas, delimitadas por tubos de PVC blanco en los vértices marcados de acuerdo con el sistema cartesiano de coordenadas. La parcela está conformada por tres fajas de 20 x 100 metros, cada una de las cuales contiene cinco cuadrantes de 20 x 20 metros, los cuales fueron numerados de acuerdo con la coordenada del vértice inferior izquierdo. Cada cuadrante se subdivide en 16 subcuadrantes de 5 x 5 metros.

El suelo está compuesto de material de arcilla roja y rocas con un pH aproximado de 6.1, que fue medido con la ayuda de un potenciómetro marca Kel Instrumental. En el sitio se instalaron barreras de contención y canales de desagüe, y por último se realizó hidrosiembra con *Brachiaria decumbens*, como medidas de control de erosión.

La vegetación remanente que se encuentra en la parte de atrás de la parcela comprende mayormente especies heliófitas poco duraderas como *Trema micrantha, Ochroma pyramidale*, *Cecropia* sp., *Isertia haenkeana*, *Isertia laevis*, además de otras especies arbustivas de menor tamaño como *Solanum* sp. y *Piper auritum*. Todas estas especies son responsables de la regeneración natural registrada en los monitoreos. La especies herbáceas y rastreras regeneradas registradas en la parcela comprenden *Lycopodiella cernua, Cyperus luzulae*,

Mimosa pigra, Ludwigia octovalvis, Neurolaena lobata, Ipomoea sp., y el helecho *Pityrogramma calomelanos,* entre otras.

Para la siembra se utilizó un distanciamiento específico de dos metros, esto, para dejar espacio para especies de crecimiento lento y de sotobosque que serán sembradas una vez las especies de crecimiento rápido estén establecidas. Los individuos de diferentes especies fueron distribuidos al azar, de tal manera que quedaran mezclados plántulas de árboles, arbustos y herbáceas de forma homogénea.

3.2. Monitoreo de parcelas de restauración ecológica

Durante el periodo de octubre 2022 a marzo de 2023 se realizó monitoreo en tres (3) parcelas de restauración de seguimiento anual: parcela del Km 18+500 (B-PRE-003), parcela Pipeline Road del Km 19+700 (B-PRE-002) y parcela de MSA (B-PRE-009).

3.2.1 Parcela Km 18 + 500 (Código B-PRE-003)

En esta parcela se realiza monitoreo anual desde el 2020 para medir la sobrevivencia y crecimiento de las 10 especies de plantas EdI introducidas en el sitio. Se realizó un mapeo de la parcela que consistió en marcar todas las plantas dentro de los sub-cuadrantes de 5x5 metros, anotando la ubicación en coordenada (eje X, eje Y). Los datos se registraron en formularios diseñados para dicha parcela.

Durante el monitoreo se toman datos de crecimiento en altura y diámetro de la planta, estado de salud e información de fenología (si la planta presenta flores y/o frutos). En caso de identificar mortalidad de individuos, se realizó resiembra. Hasta la fecha se han realizado tres (3) monitoreos de las plantas de interés en esta parcela.

3.2.2 Parcela MSA (Código B-PRE-009)

El mapeo de la parcela se realizó desde noviembre de 2019 (después de la demarcación). Dentro de los sub-cuadrantes de 5x5 metros se marcaron todas las plántulas sembradas, y se mapearon todas las plántulas siguiendo una ruta de forma similar a las manecillas de un reloj, a cada plántula se les asignó un eje X e Y.

El monitoreo de los plantones se realizó tomando en cuenta las variables de altura, diámetro del cuello de raíz (DCR), ancho de copa y la salud del plantón. Los monitoreos se realizan anualmente para determinar la sobrevivencia de cada una de las especies plantadas.

Las plantas fueron rotuladas de igual manera utilizando placas de aluminio; marcando un código de seis letras en mayúsculas que comprende las tres primeras letras del género y las tres primeras letras de la especie. Además, se registró un código que comprende el número de la planta, el número del cuadrante 20x20 metros y el número del subcuadrante 5x5 metros donde está ubicada dicha planta.

3.2.3 Parcela Km 19 + 700 (Código B-PRE-002)

Debido al estado de desarrollo de la vegetación en esta parcela; se tomaron datos de especie, diámetro a la altura del pecho (DAP), altura estimada en metros y condiciones fenológicas de los individuos monitoreados con DAP igual o mayor de 10 cm en dos cuadrantes que representan el 50% de la parcela. Se tomaron anotaciones sobre el estrato herbáceo, arbustivo y demás características de la vegetación establecida.

3.3. Mantenimiento de parcelas de restauración ecológica

Durante el periodo de octubre 2022 a marzo de 2023, a las parcelas de restauración Km 18 + 500 (B-PRE-003), Parcela MSA (B-PRE-009), parcela en el Depósito de Almacenamiento de roca estéril (DARE) al Sur del Tajo Botija (código de parcela B-PRE-43), se les realizó mantenimiento, el cual consistió en limpiar el remanente de hierba de la hidrosiembra alrededor de los plantones (para evitar que la hierba no los "ahogue") posteriormente se le aplicó a los plantones fertilizante

químico granulado (12-24-12), fertilizante orgánico a base de ácido húmico y fúlvico, fertilizante biológico (Biobacter) y abono foliar. En cuanto al esquema de fumigación, las plantas fueron fumigadas contra patógenos con fungicida e insecticidas cada seis meses.

3.4 Ensayos de restauración ecológica

Hasta la actualidad se han desarrollado diversas técnicas y estrategias con el fin de restablecer características específicas o generales de patrones o procesos de ecosistemas afectados que logren la recuperación de los mismos (Castelli et al., 2015). Durante este periodo se realizó un (1) ensayo utilizando capa orgánica para medir y se realizó el monitoreo de (2) ensayos: uno donde se probaron diferentes tipos de fertilizantes para probar cual tiene una mejor efectividad en el desarrollo de los plantones y un segundo ensayo realizando la siembra directa, en la parcela, con plantones extraídos de los alrededores para probar si es posible utilizar esta técnica y no tener que aclimatar los plantones en el vivero.

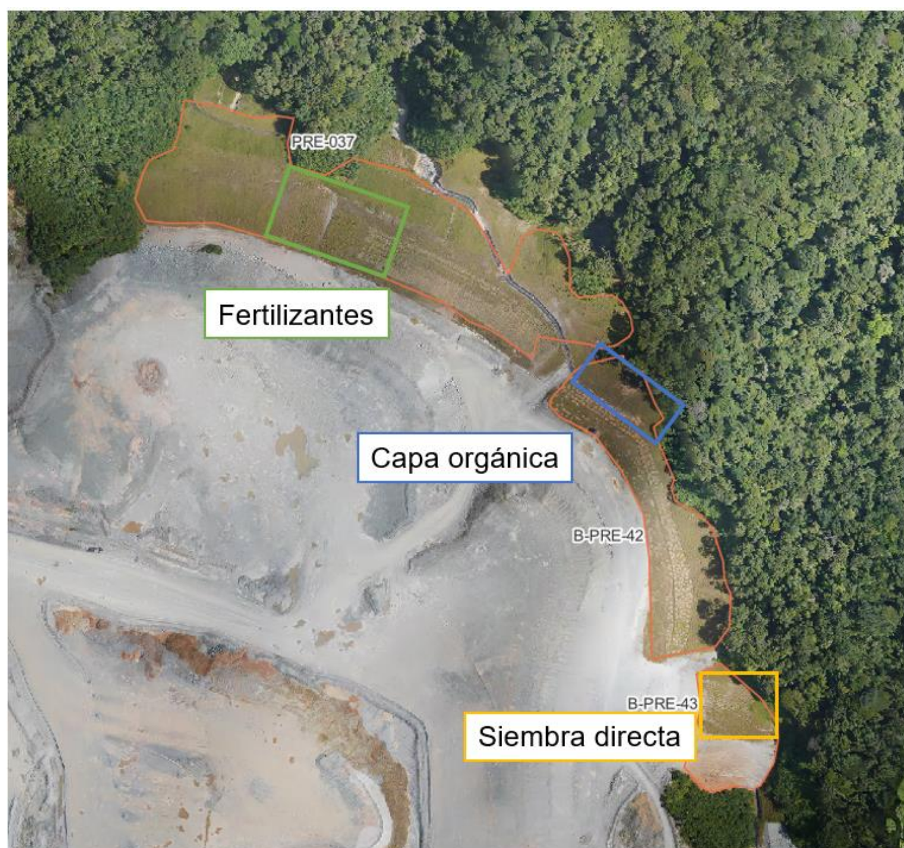


Figura 2. Mapa de ubicación de ensayos en parcelas experimentales en el DARE al sur del tajo de Botija, Tajo Botija.

3.4.1 Aplicación de fertilizantes en especies arbóreas nativas (Código B-PRE-037)

Para este periodo, se realizó el segundo monitoreo de los ensayos con 4 tipos de fertilizantes aplicados en 5 especies nativas en la parcela en el Depósito de Almacenamiento de roca estéril (DARE) al Sur del (código B-PRE-37), ubicado entre los 08°49’43.3” Norte y los 80°38’47.4” Oeste y cuenta con una superficie total aproximada de 2,400 m^2 (0.24 ha).

Para los ensayos realizados, fueron seleccionadas cuatro (4) especies pioneras o heliófilas (de rápido crecimiento): *Piper aduncum, Bellucia pentamera*, *Isertia laevis*, *Muntingia calabura,* y una (1) especie de sombra (de bosque), *Inga* sp., que han presentado porcentajes altos de sobrevivencia en otras parcelas de Rehabilitación; haciendo un total de 5 especies seleccionadas. Todas estas especies son producidas en el vivero de Valle Grande y las plantas provienen principalmente de colectas de plantones en campo.

Tabla 1. Proporciones de fertilizantes utilizados por tratamiento y aplicación en la parcela.

Tratamiento	Cantidad en libras		
	Suelo de aluvión	***Abono orgánico***	***Fertilizante aplicado a cada plantón en la siembra***
Compostaje de gallinaza	164	50	14
Compostaje de abono orgánico	------	14	14
Leonardita granulada	164	5	14
Pastilla fertilizante de liberación lenta	------	------	3 pastillas

En la prueba realizada se probaron cuatro (4) fertilizantes: a) compostaje a base de gallinaza, b) compostaje de abono orgánico (marca Aboquete), c) leonardita granulada y d) pastillas fertilizantes de liberación lenta (marca Agriform). El control consistió en suelo de saprolita (sin la aplicación de fertilizantes). Se establecieron cuadrantes de 5x10 m, con distanciamiento de siembra de 2 metros. Las plantas se sembraron en hoyos de 30 cm de ancho por 40 cm de profundidad. Los fertilizantes fueron aplicados en el fondo del hoyo y alrededor de cada sistema radicular de los plantones según cantidades descritas (Tabla 1). Las pastillas fertilizantes fueron colocadas dentro del hoyo: 2 a cada lado de la base del plantón a 8 cm de distancia del sistema radicular y otra al fondo del mismo.

3.4.2 Prueba de siembra directa de plantas (parcela B-PRE-043)

La siembra directa de plantas consiste en extraer plantas de la vegetación que bordea la parcela a restaurar. La vegetación circundante se establece en el borde del bosque y es producto de la tala de árboles ocurrida anteriormente en dicho bosque. Las plantas pioneras son caracterizadas por establecerse en lugares abiertos, son de crecimiento rápido, y soportan condiciones ambientales extremas, por lo que estas plantas servirán para dar sombra a otras plantas que lo requieren para su crecimiento óptimo.

Previo a la extracción de las plantas, se realizó una inspección para la selección adecuada de las especies de la vegetación que rodea la parcela. Posteriormente se abrieron hoyos de aproximadamente 40 x 40 x 40 cm para la siembra de las plantas en el suelo desnudo (libre de hierba). Se procuró realizar la actividad de siembra en horas de la tarde o en días nublados para reducir en lo posible el estrés en los plantones. Se colectaron plantas con un tamaño aproximado de 1 m, con el cuidado de no causar daño al sistema radicular, extrayendo la mayor cantidad de suelo posible alrededor de las raíces. Las raíces fueron remojadas con agua y cubiertas con un plástico para evitar en lo posible la deshidratación de las mismas. Seguidamente, las plantas se colocaron en una canasta, para facilitar el transporte.

Al momento de la siembra, se añadieron 15 libras de compostaje a cada hoyo en el fondo y alrededor del sistema radicular en cada planta. Finalmente, las plantas fueron remojadas en la base con una solución de leonardita líquida y fueron podadas inmediatamente eliminando la mayor cantidad de hojas maduras posible, para minimizar la pérdida de agua de la planta.

Se realizó el primer monitoreo de crecimiento y sobrevivencia para cada tratamiento en septiembre de 2022. El segundo monitoreo se realizó en diciembre de 2022 (Anexo 7.2).

3.4.3 Prueba con capa orgánica en Botadero Sur, Tajo Botija (B-PRE-042)

El suelo cumple un papel fundamental en la rehabilitación, ya que de su calidad depende el restablecimiento de la vegetación La reincorporación de la capa de suelo procura ventajas para rehabilitar las áreas degradadas por la minería a cielo abierto, ya que es un sustrato con mejores condiciones de porosidad, capacidad de almacenamiento de agua y de disponibilidad de nutrimentos y propágulos, que facilita la actividad microbiológica y el desarrollo vegetal en

comparación al manto de rocas o sedimentos que queda expuesto con la explotación minera. (Hernández-Valencia, 2011).

En una sección de la parcela B-PRE-042, también en el DARE al sur del Tajo Botija, se establecieron 2 cuadrantes de 3x9 m, subdivididos en 10 subcuadrantes de 1m^2, cada subcuadrante con una separación de 1 m (ver figura 3). Cada cuadrante consiste en 5 subcuadrantes con capa orgánica y 5 subcuadrantes de control. Los subcuadrantes se marcaron con tubos de pvc de 50 centímetros de alto. Para evitar que la escorrentía lavase la capa orgánica, se cercó cada subcuadrante de capa orgánica con sarán.

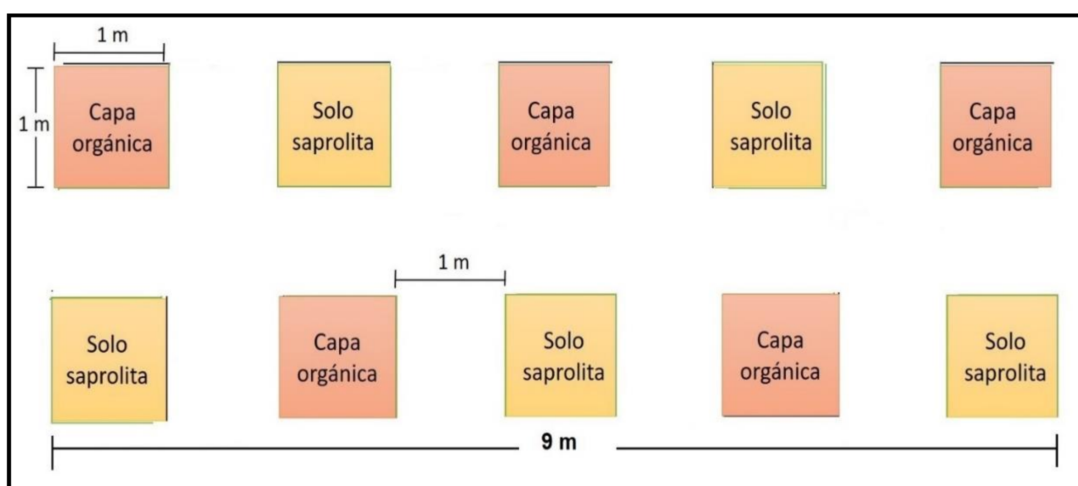


Figura 3. Esquema de cuadrante de capa orgánica de 3x9 metros.

En los subcuadrantes de 1x1 metros donde se colocó la capa orgánica, se retiraron 10 cm de saprolita. Posteriormente los subcuadrantes se rellenaron con materia orgánica de hojarasca y suelo proveniente del bosque adyacente a la parcela (Anexo 7.2).

Al cabo de dos (2) meses se realizó el primer monitoreo de los cuadrantes. Se tomaron datos sobre las plantas observadas. Se procuró en lo posible de identificar las plantas observadas y contabilizar los individuos en todos los subcuadrantes.

3.4.4 Perchas artificiales de aves

Se han instalado perchas artificiales en parcelas experimentales de rehabilitación (Figura 4) para atraer la avifauna y acelerar mecanismos de dispersión de semillas. La característica más

importante de las perchas artificiales es su bajo costo y su practicidad, asociado a una eficiencia comprobada por varios estudios. Aumentar el establecimiento de plantas dispersadas por aves bajo perchas artificiales ubicadas en zonas degradadas podría ser un factor clave para incrementar la funcionalidad de las aves en los procesos de restauración ecológica.



Figura 4. Ubicación de perchas artificiales para aves.

Se confeccionaron en total 12 perchas (10 perchas sencillas y 2 perchas con tendederos), las cuales fueron instaladas próximas a parches de bosque. Las perchas presentan una altura de 3 metros y se colocaron a una distancia mínima de 30 metros una de otra. Para registrar la utilización de las perchas por aves, se instaló en el extremo izquierdo de la percha una cámara trampa. Las tarjetas SD fueron retiradas y cambiadas mensualmente para el procesamiento de las imágenes capturadas. Las perchas fueron debidamente enumeradas y georreferenciadas. Se procesó y tabuló la información de las aves capturadas en cada cámara trampa.

Debajo de cada percha sencilla se marcó un cuadrante de 2 m x 2 m con el fin de tomar datos sobre la cobertura vegetal inicial bajo las perchas, y así poder identificar cambios en la misma, es decir, evaluando la regeneración natural debajo de cada percha. Cada cuadrante se marcó

utilizando tubos PVC de aprox. 1 metro (Figura 5). Se estimó el porcentaje de cobertura de cada especie de planta presente. Se tomaron muestras botánicas para la identificación de las mismas.



Figura 5. Estructura de percha sencilla con cámara trampa.

3.5. Registro de la Información y Análisis de datos

Se registró la mortalidad de plantones e información de crecimiento de las especies de plantas en las parcelas de restauración y de las parcelas experimentales en la base de datos para su posterior análisis.

Se calculó porcentaje de supervivencia de las plantas de cada parcela monitoreada como también por especie. El análisis de la sobrevivencia y mortalidad de cada especie nos permite identificar especies que pueden ser más aptas para ser utilizadas en las etapas tempranas de la restauración, y si es necesario, aplicar técnicas adicionales para mejorar su desarrollo desde la etapa de germinación y mantenimiento de plantones en el vivero, y posteriormente en las parcelas de restauración.

El análisis de los datos de la parcela Km 19 + 700 (pipeline road) consistió en calcular la altura promedio de todos los árboles monitoreados y calcular la totalidad del área basal de los individuos a partir de la medida de diámetro a la altura del pecho (DAP) mediante la siguiente fórmula**:**

$$AB = \frac{\pi}{4} \text{ x } (DAP)^2$$

El desempeño de las especies sembradas en parcelas se evaluó tomando en cuenta los siguientes datos de supervivencia, crecimiento de diámetro de cuello de raíz (mm) y crecimiento en altura (cm). Para evaluar el desempeño de las especies de plantas seleccionadas para la siembra en parcelas de restauración, se clasificaron en tres categorías según Elliott, Blakesley y Hardwick (2013):

Categoría 1: las plantas que quedaron por debajo de la mayoría o de todos los estándares mínimos aceptables fueron consideradas como especies no aceptables. Estas especies no se descartarán del proyecto de restauración, pero se les dará un seguimiento más riguroso para lograr mejorar su rendimiento en las parcelas de restauración.

Categoría 2: las plantas que excedieron algunos de los estándares mínimos aceptables, pero quedaron por debajo de otros, o quedaron por debajo de varios estándares por un margen pequeño, fueron consideradas como especies marginales. Estas especies se someterán a investigación para mejorar su rendimiento.

Categoría 3: Las plantas que excedieron en gran proporción a la mayoría de todos los estándares mínimos fueron consideradas como especies aceptables y, por ende; adecuadas para utilizar en futuras plantaciones.

Los estándares aceptables para las plantas fueron: tener una tasa de sobrevivencia de más del 50%, y que tanto la altura como el ancho de copa hayan excedido más del doble luego de 12 meses de haberse plantado.

Para evaluar los ensayos de restauración realizados, se realizó lo siguiente:

- Fertilizantes: Se realizaron pruebas de ANOVA y "t" de Student en los datos para determinar diferencias significativas entre los tratamientos y entre especies.
- Capa orgánica: se registró la cantidad de especies e individuos observados en los subcuadrantes.
- Perchas de aves: se calculó la cantidad de especies y de registros de aves en las cámaras trampa instaladas en las perchas: Mediante revisión de literatura especializada se determinó la dieta de las especies de aves registradas. Para el registro de datos de regeneración vegetal, se anotó la cantidad de especies de plantas identificadas debajo de las perchas.

4. RESULTADOS

4.1 Monitoreo de parcelas de restauración ecológica

4.1.1 Parcela Km 18 + 500 (Código B-PRE-003)

Se contabilizaron 63 plantas de la Lista de Especies interés distribuidas en 10 especies, de las cuales *Eugenia arrhaphocalyx*, *Zamia skinneri* y *Calathea gordonii* presentaron mayor cantidad de individuos (Tabla 2). Se reportan además dos individuos de regeneración natural: *Calathea gordonii* y *Eugenia arrhaphocalyx*; esta última especie produce flores y frutos al alcanzar de 4 a 6 metros de alto (Barrie et al., 2016).

Tabla 2. Especies de interés monitoreadas en parcela Km 18+500 (B-PRE-003)

Hábito	Familia	Especie de interés de Flora	Categoría UICN	Individuos	Valores promedio		
					Altura total (cm)	Diámetro de cuello de raíz (mm)	Ancho de copa (cm)
Árbol	Rhizophoraceae	*Cassipourea undulata*	EN	6	102	12.4	63.5
	Myrtaceae	*Eugenia arrhaphocalyx*	EN	11	92.9	11.2	66.6
	Euphorbiaceae	*Mabea tenorioi*	VU+	1	500	41.3	150
	Rubiaceae	*Palicourea roseocremea*	VU+	7	75.8	8.4	30.8
	Lauraceae	*Pleurothyrium triflorum*	EN	1	35	9.6	80
	Rubiaceae	*Posoqueria laevis*	EN	5	112.4	14	56.4
Arbusto	Arecaceae	*Synechanthus dasystachys*	CR	8	31.3	22.1	120.8
	Zamiaceae	*Zamia skinneri*	EN	10	45.7	38.2	99.3
Hierba	Marantaceae	*Calathea gordonii*	EN	10	44.3	12.5	68.8
	Gesneriaceae	*Trichodrymonia peltatifolia*	EN	4	15.3	6.9	34.4
			TOTAL	**63**			

En este periodo se registró la mortalidad de un (1) individuo de *Trichodrymonia peltatifolia* y un (1) individuo de *Palicourea roseocremea*. Al comparar con los datos del monitoreo anterior, se determina que el porcentaje de supervivencia de las especies de interés en esta parcela se mantiene en 97%; por ende, el porcentaje de mortalidad es del 3%.

4.1.2 Parcela Km 19 + 700 (Código B-PRE-002)

En el primer monitoreo de 0.28 hectáreas realizado en febrero de 2023, se contabilizaron 78 individuos arbóreos (DAP ≥ 10 cm) distribuidos en 5 especies. De las especies identificadas, cuatro (4) pertenecen a la familia Fabaceae. Las especies más abundantes y que presentaron mayor crecimiento en altura y diámetro fueron *Inga* sp. (guabo) con 51 individuos y *Ochroma pyramidale* (balso) con 15 individuos.

Tabla 3. Individuos arbóreos monitoreados en parcela Km 19+700

Familia	Especie	Nombre común	N° individuos	Altura (m)	DAP (cm)
Fabaceae	*Inga sp.*	Guabo	51	7 - 18	10 - 61
Malvaceae	*Ochroma pyramidale*	Balso	15	9.5 - 14	10 - 40
Rubiaceae	*Isertia laevis*	s.n.	8	9 - 11	10 - 20
Fabaceae	*Senna reticulata*	Laureño	2	8 - 10	11 - 13
Fabaceae	*Abarema adenophora*	s.n.	1	10	10
Fabaceae	*Taralea oppositifolia*	s.n.	1	12	12
		TOTAL	**78**		

En cuanto a las características estructurales de la parcela Km 19 + 700, se obtuvo que el área monitoreada (0.28 ha) presentó un área basal total de 3.39 cm^2/ha y una altura promedio de 10 metros. Estas cifras extrapoladas a 0.1 ha (el tamaño muestral empleado en los estudios de estructura vegetal), estiman un área basal de 1.21 cm^2/ha, una altura promedio de 10 metros y 28 individuos arbóreos. Estos resultados coinciden con las cifras reportadas para un bosque húmedo secundario joven de aproximadamente 7 a 10 años (Mendieta et al., 2010), y coincide a su vez con la edad de la parcela, establecida en el 2015 (8 años).

En cuanto a la estratificación, se aprecian dos estratos, el herbáceo y el arbóreo. En el sitio se puede apreciar un dosel cerrado. Actualmente el 75% de la parcela presenta un dosel establecido (Figura 6).



Figura 6. Ortofoto (2022) de parcela Km 19 + 700 (B-PRE-002).

En cuanto a la composición de los estratos herbáceo y arbustivo, se observaron plantas de *Piper* sp., *Psychotria* sp., *Irblachia* sp., *Lycopodiella* sp., y diversas especies de la familia Melastomataceae. En otras secciones de la parcela se observó la dominancia en el estrato herbáceo de la hierba *Desmodium* sp. y el helecho *Nephrolepis* sp., compitiendo con la regeneración de especies arbóreas. Se observaron algunos árboles con troncos recubiertos de epífitas. En cuanto a la fenología de los individuos monitoreados, se observaron individuos de *Isertia laevis* en fructificación y árboles de Inga en floración.



Figura 7. Vista parcial de la parcela Km 19 + 700.



Figura 8. Epífitas sobre tronco de árbol en parcela Km 19 + 700.

En cuanto a la fenología, en el momento que se realizó el monitoreo se registraron 6 individuos de balso (*Ochroma pyramidale*) en floración y fructificación, un individuo de guabo (*Inga* sp.) con frutos y 3 individuos de *Isertia laevis* con flores y frutos.

4.1.3 Parcela MSA (Código B-PRE-009)

En el monitoreo de este año se contabilizó un total de 1289 plantas, de las cuales se registró la pérdida de 573 individuos, lo que corresponde al 44% de las plantas sembradas en la parcela. Con respecto a la regeneración natural (reclutas) en la parcela, se contabilizaron 46 individuos y 7 especies, de las cuales *Piper aduncum* fue la más abundante.

Las especies que marcaron mayor cantidad de individuos muertos para este periodo fueron aquellas resembradas en el 2022 (Figura 9). La mortalidad de plantones refleja las condiciones propias del suelo arcilloso rojo presente en la parcela de restauración.

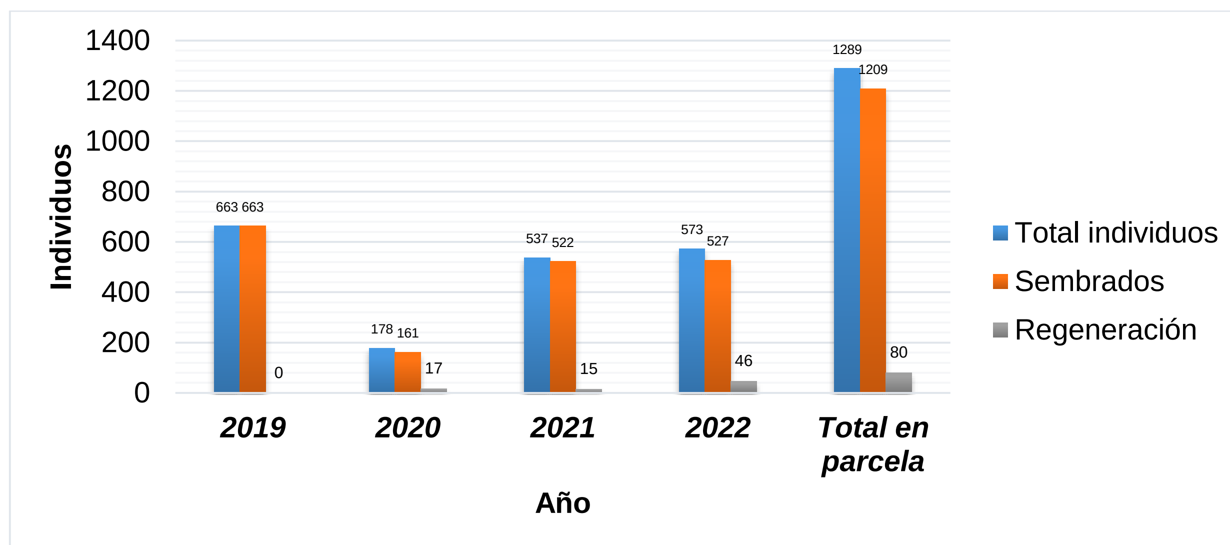


Figura 9. Número de individuos sobrevivientes por año de siembra contabilizados durante este periodo de monitoreo. En el gráfico se muestra el total de plantas sembradas (barra azul), plantas de regeneración o reclutas (barra anaranjada) contabilizadas en este periodo.

En la figura 10 se muestra el número de individuos sobrevivientes de 20 de las 39 especies resembradas desde el año 2019. Las especies que marcaron la mayor cantidad de individuos

sobrevivientes durante este periodo fueron: *Inga sp., Ochroma pyramidale* y *Cespedesia spathulata.*

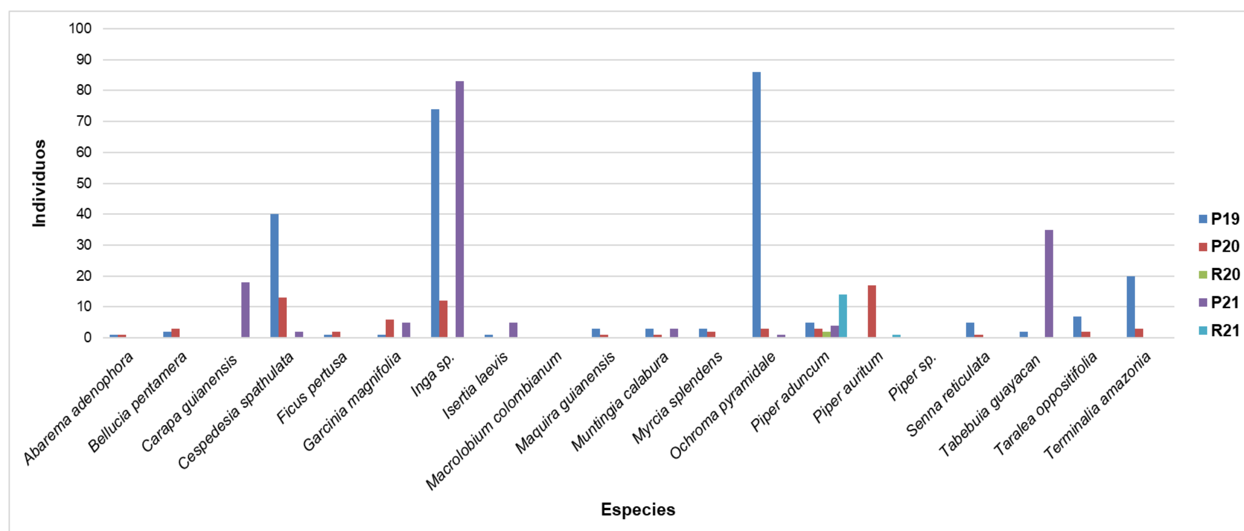


Figura 10. Sobrevivencia de especies resembradas en la parcela de restauración en el año 2022. La letra P indica la cantidad de plantas sembradas, letra R la cantidad de plantas reclutas. Los números indican el año de siembra o establecimiento de reclutas.

En base a los resultados obtenidos, *Inga* sp. y *Ochroma pyramidale* han sido especies capaces de adaptarse a las condiciones del suelo de la parcela MSA; mientras que *Cespedesia spathulata* y *Piper aduncum* han presentado una capacidad de regeneración natural en dicha parcela.

4.2. Ensayos de restauración ecológica

4.2.1 Ensayos con fertilizantes en la parcela del Tajo Botija, Botadero Sur (B-PRE-037)

Para este periodo se realizó el segundo monitoreo del ensayo con diferentes fertilizantes en la parcela B-PRE-37. Según los resultados de la prueba T de Student, existen efectos significativos ($P<0.05$) en los plantones sembrados bajo diferentes tipos de fertilizantes.

Los plantones con mayor sobrevivencia fueron aquellos en los que se les aplicó fertilizantes en pastilla, leonardita granulada y compostaje de abono orgánico, siendo aquellos sembrados bajo el tratamiento con fertilizante en pastilla los que obtuvieron el 98% de sobrevivencia (Figura 11). La mortalidad en los plantones sembrados con compostaje de gallinaza se mantuvo, con un 45%. Debido a la alta mortalidad de plantones con la proporción de gallinaza aplicada en el tratamiento,

se ha estado evaluando la proporción de gallinaza adecuada para su aplicación en las parcelas. Cabe señalar que las especies nativas seleccionadas presentaron un porcentaje de supervivencia alto en el tratamiento control (saprolita).

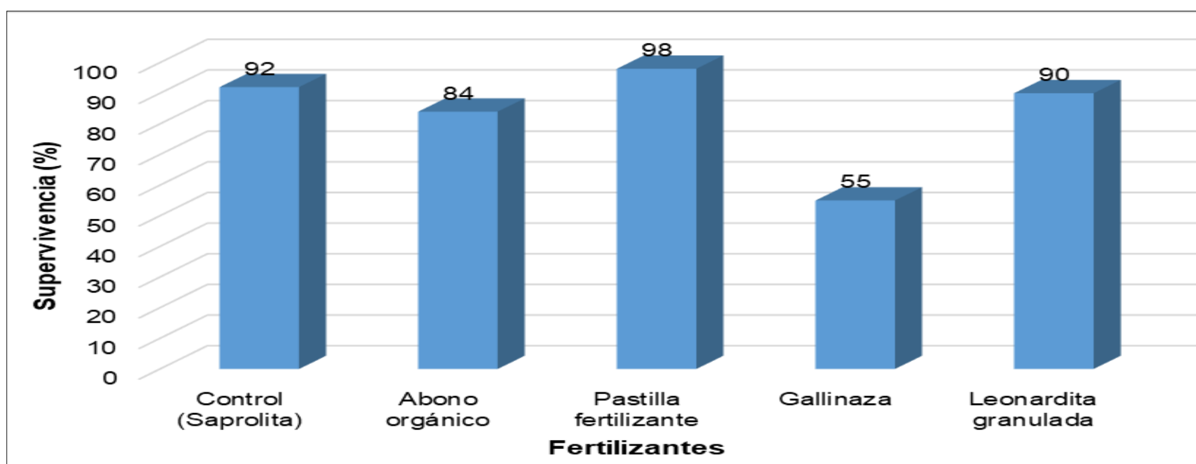


Figura 11. Porcentaje de supervivencia de las especies sembradas bajo diferentes tratamientos de fertilizantes.

Sin embargo, en los resultados se observó que 5 meses después del primer monitoreo, las plantas comenzaron a aumentar el porcentaje de mortalidad; lo que puede sugier que los fertilizantes pierden su efectividad pasado este periodo de tiempo, pero hay qie hacer más pruebas.

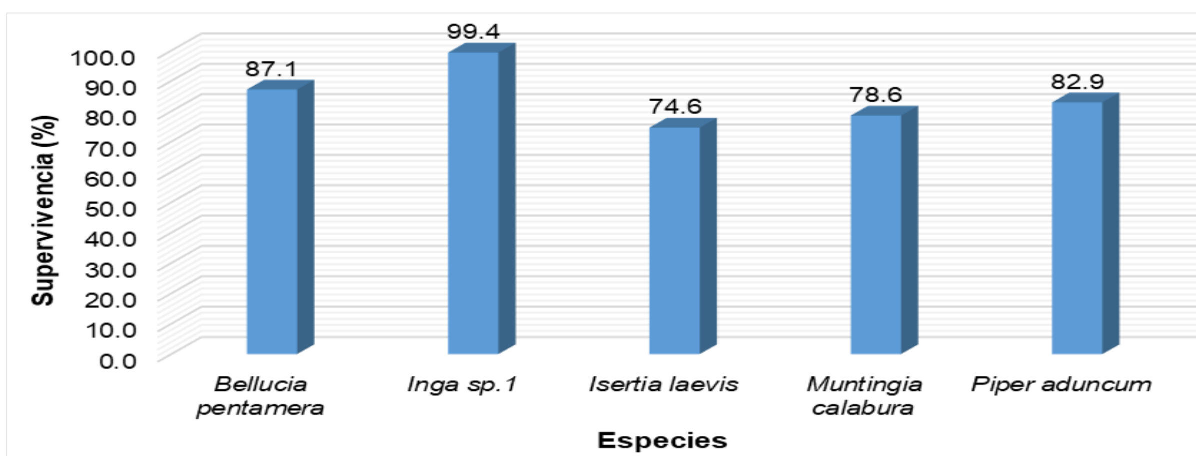


Figura 12. Sobrevivencia de especies nativas sembradas con diferentes tratamientos con fertilizantes

En la Figura 12 se observa que en general las especies nativas presentaron porcentajes de supervivencia diferentes en cuanto al fertilizante aplicado, a excepción del guabo (*Inga* sp.), que presentó un porcentaje de supervivencia homogéneo en los diferentes tipos de fertilizantes (Figura 13).

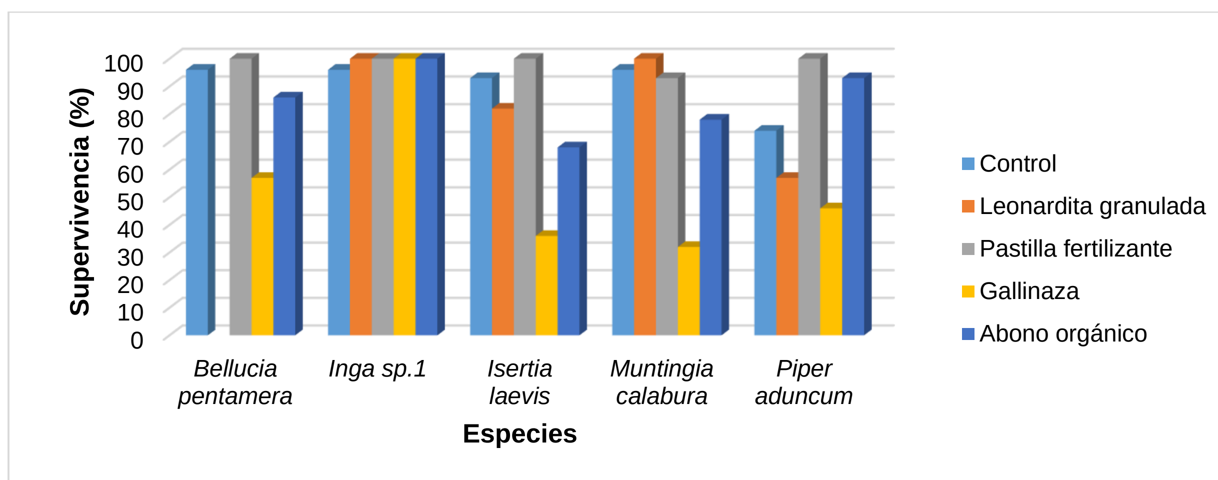


Figura 13. Porcentaje de supervivencia de especies nativas en diferentes fertilizantes.

Al comparar el crecimiento promedio de las especies nativas a los diferentes fertilizantes aplicados, se pudo observar que el crecimiento fue positivo, tomando en cuenta el tratamiento control; es decir, las plantas sembradas en saprolita sin adición de fertilizantes (Figura 14).

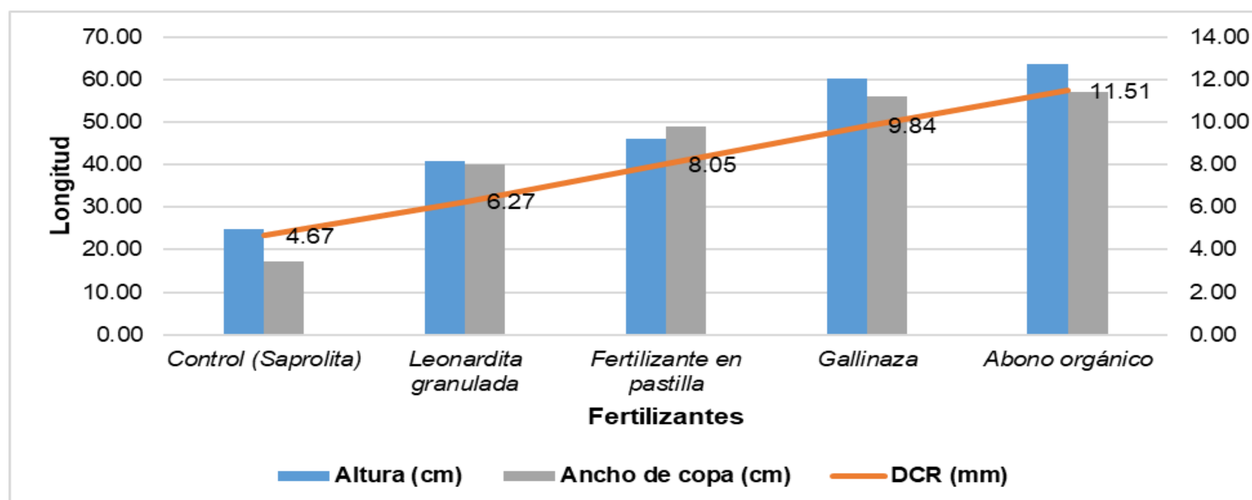


Figura 14. Crecimiento de las plantas en altura (cm), ancho de copa (cm) y diámetro de cuello de raíz (mm) bajo diferentes fertilizantes.

Al comparar los datos de crecimiento por especie y tratamiento aplicado (Figura 15), se pudo observar que *Muntingia calabura* presentó mayor crecimiento, seguida de *Isertia laevis* e *Inga sp.* A pesar de que la proporción aplicada de gallinaza causó una gran mortalidad, *Muntingia calabura* presentó mayor crecimiento bajo este fertilizante. En general las especies seleccionadas presentaron mayor crecimiento al aplicarles fertilizantes; de las cuales la gallinaza, el abono orgánico y las pastillas fertilizantes de liberación lenta presentaron los mejores resultados.

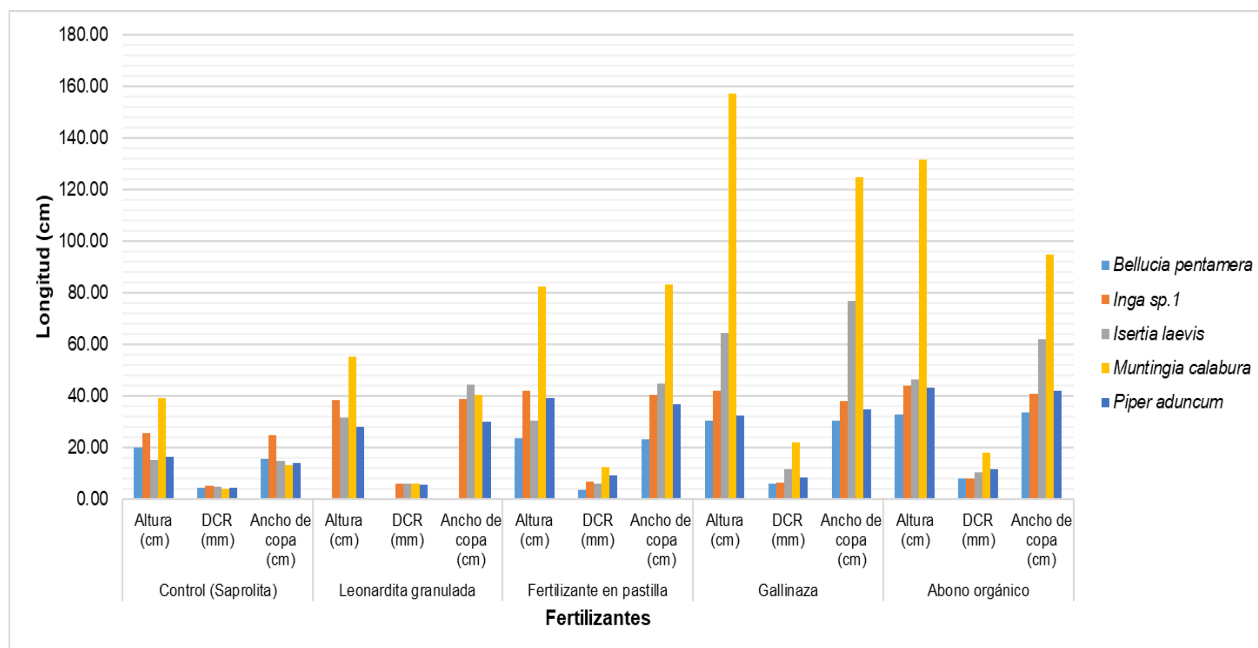


Figura 15. Crecimiento de especies nativas en altura (cm), ancho de copa (cm) y diámetro de cuello de raíz (mm) bajo diferentes fertilizantes

4.2.2 Siembra directa de plantones en parcela del Tajo Botija, Botadero Sur (B-PRE-043)

Al inicio de la prueba, se registraron 343 individuos sembrados, distribuidos en 22 familias y 32 especies, entre árboles, helechos, arbusto y hierbas, con un porcentaje de supervivencia del 69%. En el segundo monitoreo, se registró un total de 347 individuos, debido que algunos presentaron capacidad de rebrote. De las 32 especies identificadas en el primer monitoreo, 25 especies persistieron en la parcela, con un porcentaje de supervivencia del 50% (Tabla 4).

Tabla 4. Plantas sembradas en la parcela B-PRE-43 provenientes de la vegetación circundante

Especie	Familia	Hábito	Tipo	% Supervivencia
Bellucia pentamera	Melastomataceae	Árbol	Pionera	50.00
Casearia arborea	Salicaceae	Árbol	Pionera	33.33
Cecropia sp.	Cecropiaceae	Árbol	Pionera	55.56
Cespedesia spathulata	Araliaceae	Árbol	Sombra	50.00
Cordia sp.	Boraginaceae	Árbol	Pionera	100.00
Costus sp.	Costaceae	Hierba	Sombra	100.00
Cyathea sp.	Cyatheaceae	Helecho arboreo	Sombra	60.71
Heliconia sp. 1	Heliconiaceae	Hierba	Sombra	100.00
Heliconia sp. 2	Heliconiaceae	Hierba	Sombra	100.00
Hirtella tubiflora	Chrysobalanaceae	Árbol	Sombra	0.00
Inga pezizifera	Fabaceae	Árbol	Sombra	0.00
Inga sp.	Fabaceae	Árbol	Sombra	57.14
Isertia laevis	Rubiaceae	Árbol	Pionera	66.30
Marila sp.	Calophyllaceae	Árbol	Sombra	100.00
Miconia sp.	Melastomataceae	Árbol	Sombra	27.27
Desconocida	Myrsinaceae	Árbol	Sombra	100.00
Piper aduncum	Piperaceae	Arbusto	Pionera	66.67
Piper auritum	Piperaceae	Arbusto	Pionera	60.00
Piper sp.	Piperaceae	Arbusto	Pionera	75.00
Psychotria sp.	Rubiaceae	Árbol	Pionera	18.92
Siparuna cuspidata	Siparunaceae	Árbol	Sombra	100.00
Solanum sp.	Solanaceae	Arbusto	Pionera	66.67
Taralea oppositifolia	Fabaceae	Árbol	Sombra	100.00
Trema micrantha	Cannabaceae	Árbol	Pionera	30.00
Vismia macrophylla	Hypericaceae	Árbol	Pionera	80.00
Vochysia ferruginea	Vochysiaceae	Árbol	Sombra	14.29
Vochysia guatemalensis	Vochysiaceae	Árbol	Sombra	33.33

Las especies *Vismia macrophylla* (80%), *Piper auritum* (60%), *Isertia laevis* (66%), *Cyathea* sp. (61%) presentaron mayor porcentaje de supervivencia; lo que convierte la siembra directa en una estrategia para la siembra de estas especies en parcelas de restauración dado que la reproducción de estas especies en difícil de lograr en vivero. Las especies que presentaron alto porcentaje de mortalidad fueron *Vochysia ferruginea* (86%), *Psychotria* sp. (81%), *Miconia* sp. (73%) y *Trema micrantha* (70%).

4.2.3 Prueba de capa orgánica en parcela del Tajo Botija, Botadero Sur (B-PRE-042)

En el primer monitoreo de los dos cuadrantes establecidos, se identificaron en total 36 especies de plantas distribuidas en 343 individuos; en su mayoría hierbas con 28 especies, 6 especies arbóreas (Figura 17) y 2 especies de enredaderas.

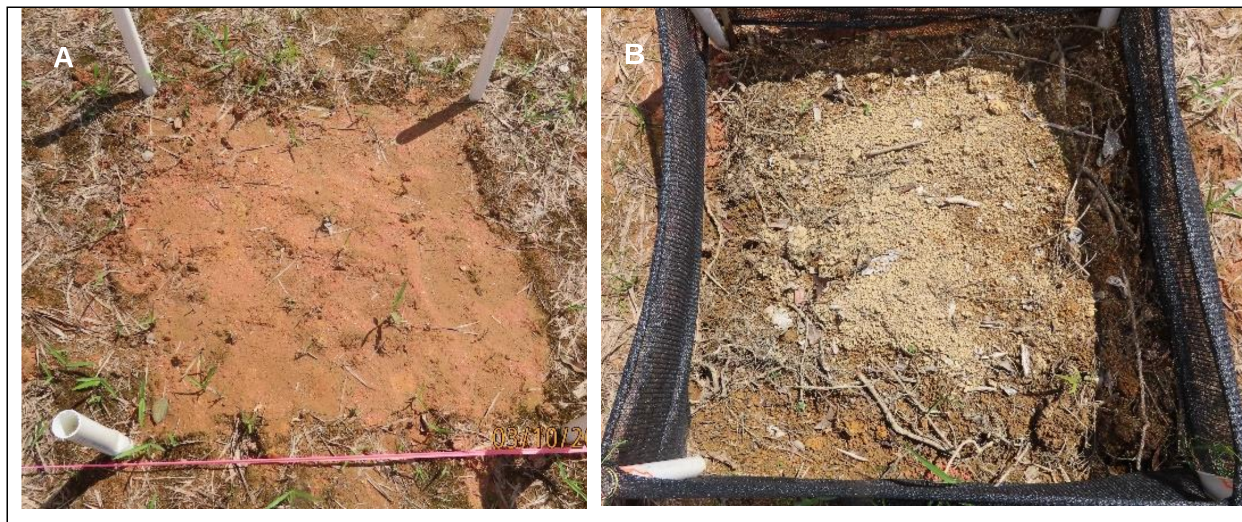


Figura 16. A. Subcuadrante de control (saprolita). B. Subcuadrante con capa orgánica.

En los subcuadrantes de capa orgánica se identificaron 30 especies en 109 individuos, de las cuales las especies más abundantes fueron *Trema micrantha* con 8 individuos, *Philodendron* sp., con 6 individuos, un helecho y una especie de hierba sin determinar. En cambio, en los subcuadrantes de saprolita se identificaron 4 especies en 234 individuos. Los subcuadrantes de saprolita fueron colonizados principalmente por *Brachiaria decumbens*, *Lycopodiella cernua* y una especie de musgo.

En el primer monitoreo, sólo dos individuos presentaban un tamaño igual o superior a 10 centímetros. En los próximos monitoreos se espera determinar la identidad de los individuos registrados en los subcuadrantes.



Figura 17. Especies arbóreas identificadas en subcuadrantes con capa orgánica.

4.2.4 Perchas artificiales de aves

Mediante el monitoreo de cámaras trampa en las perchas sencillas se registraron un total de **1026** visitas. El mayor número de visitas se registró en la percha #2 con 251 registros, seguida de la percha #1 con 156, la percha # 7 con 110 visitas y la percha #9 con 102 visitas. En cuanto a las perchas con tendederos, T2 solo registró 38 de visitas y la T1 no se obtuvieron datos para analizar. Las perchas #1 y #2 presentaron la mayor cantidad de especies registradas (12 especies).

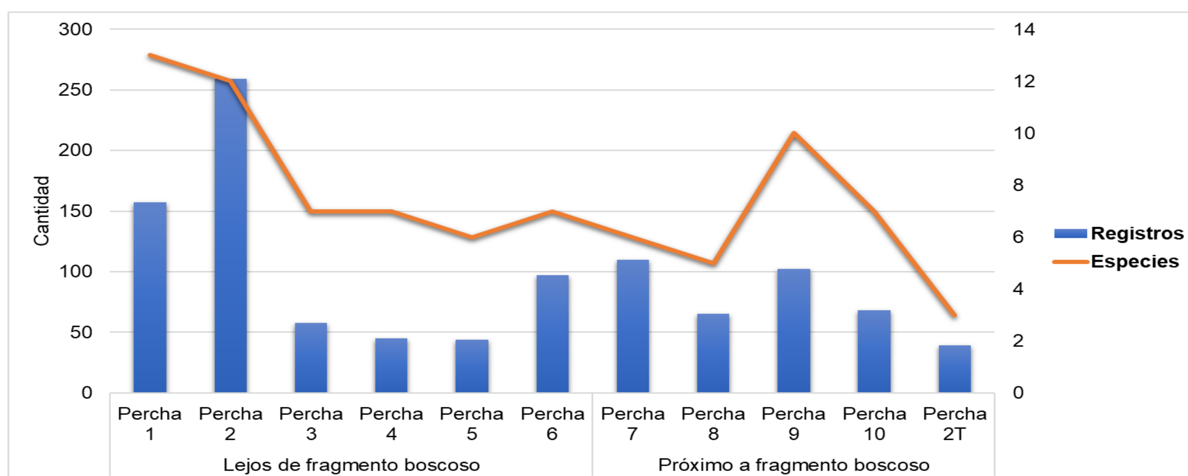
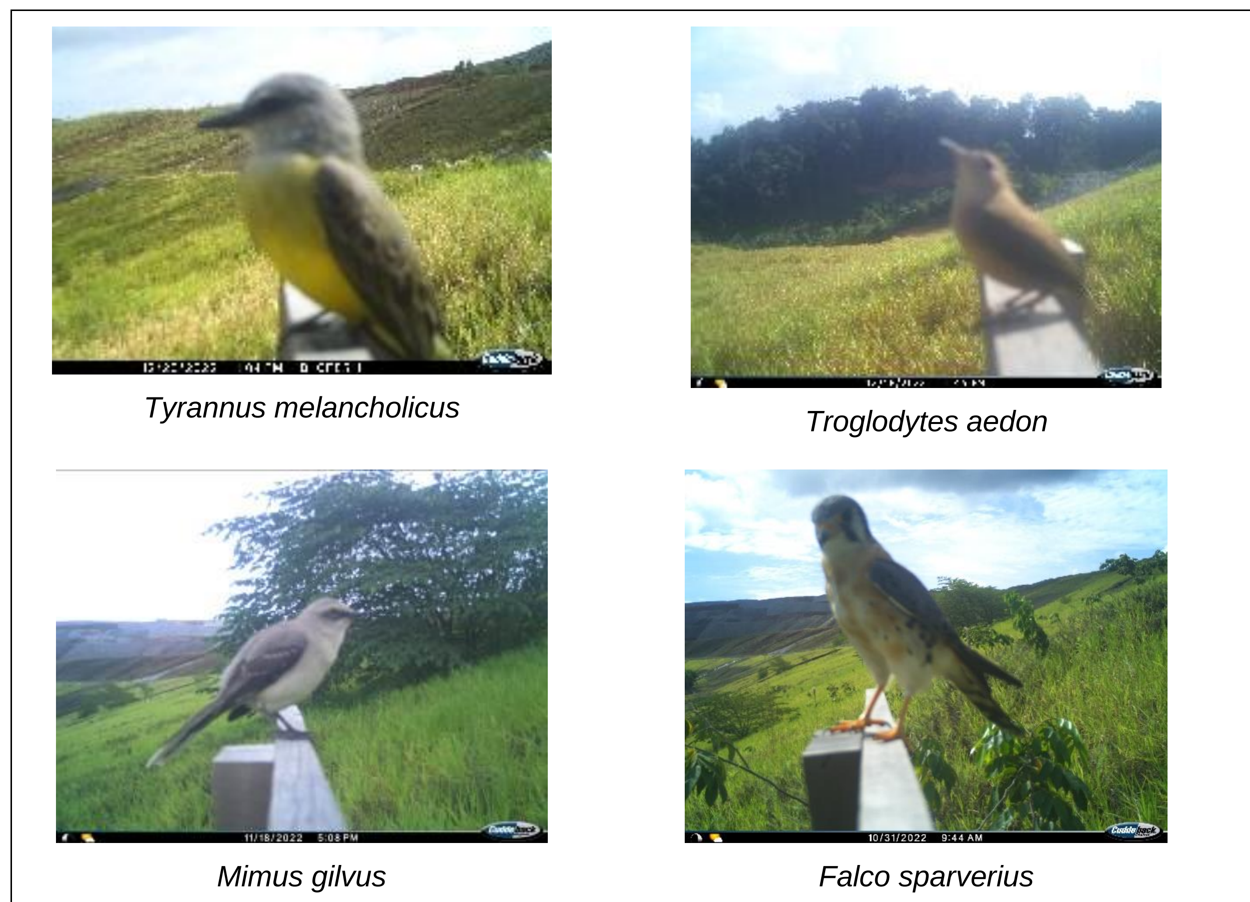


Figura 18. Cantidad de visitas y especies registradas en las cámaras trampa de las perchas artificiales de aves.

Se registró un total de **17** especies de aves, pertenecientes a nueve (9) familias en **1026** visitas a las perchas. Las perchas 1, 2 y 9 presentaron mayor actividad de aves (Figura 2). *Tyrannus melancholicus*, *Troglodytes aedon* y *Mimus gilvus* fueron las especies de aves que utilizaron

activamente las perchas artificiales. Se observaron tres especies de aves migratorias entre ellas *Falco sparverius, Hirundo rustica y Contopus sp.*



Tyrannus melancholicus — *Troglodytes aedon*

Mimus gilvus — *Falco sparverius*

Figura 19. Algunas especies de aves registradas en las cámaras trampa de las perchas artificiales.

De las 17 especies de aves registradas, ocho (8) son insectívoros, seis (6) presentan una dieta omnívora (insectos, frutos, huevos, arácnidos, pequeños vertebrados), cuatro (4) son frugívoros, tres (3) consumen semillas (granívoros), tres (3) son carroñeros (Tabla 5). En las cámaras trampa se registraron aves cazando insectos: polillas, libélulas, grillos, avispas. Se observaron también aves utilizando las perchas para acicalamiento.

Tabla 5. Especies de aves y su dieta registrados en las cámaras trampa de ñas perchas artificiales.

Familia	Especies	Número de visitas	Dieta	Estatus
Cathartidae	*Cathartes aura*	4	Carroñero	Residente
	Coragyps atratus	47	Carroñero	Residente
Cuculidae	*Crotophaga ani*	45	Insectívoro (PV)	Residente
Falconidae	*Falco sparverius*	4	Insectívoro (PV)	Migratorio
Hirundinidae	*Hirundo rustica*	7	Insectívoro	Migratorio
Icteridae	*Quiscalus mexicanus*	28	Omnívoro	Residente
Mimidae	*Mimus gilvus*	133	Omnívoro	Residente
Thraupidae	*Sporophila corvina*	1	Semillas	Residente
	Thraupis episcopus	9	Frugívoro (I)	Residente
	Thraupis palmarum	1	Frugívoro (I)	Residente
	Tiaris olivaceus	3	Semillas	Residente
	Volatinia jacarina	20	Semillas	Residente
Troglodytidae	*Cantorchilus elutus*	1	Insectívoro	Residente
	Troglodytes aedon	294	Insectívoro	Residente
Tyrannidae	*Contopus sp*	10	Insectívoro	Migratorio
	Pitangus sulphuratus	50	Insectívoro (F)	Residente
	Tyrannus melancholicus	369	Insectívoro (F)	Residente
	Total de visitas	**1026**		

Sobre los resultados del monitoreo de la vegetación bajo las perchas artificiales de aves, se identificaron tres (3) especies dominantes: la hierba *Brachiaria decumbens*, utilizada para hidrosiembra, el helecho *Pityrogramma calomelanos* y la orquídea *Spathoglottis plicata*. De las 12 perchas artificiales instaladas, siete (7) cuadrantes (58%) está cubiertas de *Brachiaria decumbens*, tres (3) cuadrantes (25%) presentaron vegetación con *Brachiaria decumbens* y *Pityrogramma calomelanos*, un (1) cuadrante presenta una cobertura compuesta de *Brachiaria decumbens*, *Spathoglottis plicata* y *Pityrogramma calomelanos*; y un (1) cuadrante con vegetación dominada por el helecho Pityrogramma calomelanos.

Durante las inspecciones realizadas a las perchas artificiales, no se han identificados especies que hayan llegado dispersadas por las aves que se percharon.

4.3 Sobrevivencia y desempeño de especies nativas

Como resultado de este monitoreo se determinó que la gran mayoría de las especies de sombra seleccionadas para siembra en las parcelas exhiben una tasa de sobrevivencia aceptable pero un crecimiento reducido. Tal es el caso *de Cespedesia spathulata*, *Carapa guianensis* y *Terminalia amazonia*. Sin embargo, estas especies son evaluadas rigurosamente en el vivero con el objetivo de mejorar su rendimiento en las parcelas. Esto se puede lograr aplicando técnicas como: a) mejorar las condiciones del sustrato; aumentando la frecuencia de adición de nutrientes, b) aumentar la frecuencia de la aplicación de nematicida y fungicida contra los patógenos.

5. CONCLUSIONES

- Las plantas de interés (EdI) sembradas en la parcela Km 18 + 500 (B-PRE-003) han mantenido un porcentaje de mortalidad bajo (3%), lo que indica que esta parcela reúne las condiciones de microclima necesarias que aseguren la supervivencia de estas especies.

- La parcela Km19+700 (B-PRE-002) presenta secciones con vegetación estructuralmente similar a un bosque secundario joven de 7 a 10 años, correspondiente al tiempo de establecimiento de la parcela; indicativo de que se está dando el proceso de sucesión vegetal en dicha parcela.

- En los ensayos de restauración realizados, se han podido identificar técnicas útiles para lograr establecer especies pioneras en parcelas, cuya reproducción en vivero ha sido reducida, dadas sus características ecológicas particulares; por ejemplo, *Vismia macrophylla*, *Cecropia* sp. y *Cyathea* mediante siembra directa de plantones (B-PRE-043), y *Trema micrantha* mediante aplicación de capa orgánica (B-PRE-042).

- El porcentaje de sobrevivencia se mantiene alto en las especies pioneras *Ochroma pyramidale*, *Cespedesia spathulata* e *Inga* sp., una especie de sombra, en la parcela MSA (B-PRE-009).

- Los resultados del segundo monitoreo del ensayo en la parcela B-PRE-037 aplicando diferentes fertilizantes, sugieren que la aplicación de enmiendas al suelo es importante para lograr un crecimiento óptimo de las plantas en las parcelas de restauración.

- Las perchas artificiales para aves pueden ser de utilidad en la promoción de la dispersión de semillas; sin embargo, el éxito de esta estrategia dependerá de la presencia de plantas proveedoras de alimento para la avifauna.

6. BIBLIOGRAFÍA

Barrie, F. R., Ramos, C., Ortiz, O. O., Vergara-Pérez, I., & McPherson, G. (2016). Five new species of Eugenia (Myrtaceae) from Panama. *Novon: A Journal for Botanical Nomenclature*, *24*(4), 333-342.

Castelli, K. R., Barreto, M. G., Francesconi, W., Valle, L. D., Mondelli, G., Abilio, F. M., & da Silva, A. M. 2015. Analysis of effectiveness of three forest interventionist techniques and proposal of a new and integrated model of forest restoration. *Environmental technology*, *36*(21), 2712-2723.

CTF. 2018. Trees, Shrubs, and Palms of Panama. http://ctfs.si.edu/webatlas/maintreeatlas.php. Consultado en diciembre, 2018.

Elliott, S. D., D. Blakesley y K. Hardwick, 2013. Restauración de Bosques Tropicales: un manual práctico. Royal Botanic Gardens, Kew; 344 pp.

Gentry, A.H. 1993. A Field Guide to the Families and Genera of Woody Plants of Northwesdt South America (Colombia, Ecuador, Peru): With Supplementary Notes on Herbaceous Taxa. Chicago: The University of Chicago Press; 895 pp.

Guariguata, M. R. y R. Ostertag, 2002. Sucesión secundaria. En: Guariguata, M. R. y G. Kattán (Editores). Ecología y Conservación de Bosques Neotropicales. Cartago: Libro Universitario Regional; 691 pp.

Hammel, B.E.; Grayum, M.H.; Herrera, C. y N. Zamora. 2010. Manual de Plantas de Costa Rica. Volumen V: Dicotiledóneas (Clusiceae-Gunneraceae). St. Louis, Missouri: Botanical Garden Press; 970 pp.

Hammel, B.E.; Grayum, M.H.; Herrera, C. y N. Zamora. 2007. Manual de Plantas de Costa Rica. Volumen V: Dicotiledóneas (Haloragaceae-Phytolaccaceae). St. Louis, Missouri: Botanical Garden Press; 932 pp.

Hernández-Valencia, I., Pérez, M., & Lisena, M. (2011). Calidad del suelo en zonas rehabilitadas de una mina de bauxita. La Restauración Ecológica en Venezuela: Fundamentos y Experiencias. Ediciones IVIC. Caracas, Venezuela, 165-175.

Nepstad, D. C., Uhl, C., C. A. Pereira y J. M. Cardoso da Silva, 1996. A Comparative study of tree establishment in abandoned pasture and mature forest of Eastern Amazonia. Oikos 76:25-39.

Peña-Claros, M. (2003). Changes in forest structure and species composition during secondary forest succession in the Bolivian Amazon1. *Biotropica*, *35*(4), 450-461.

Pérez, R. 2008. Árboles de los Bosques del Canal de Panamá. Panamá: Boski S.A.; 466 pp.

SER 2004. Principios sobre SER International sobre la restauración ecológica SER (Society for Ecological Restoration International – Sociedad Internacional para la Restauración Ecológica). Grupo de trabajo sobre ciencia y políticas (Versión 2: octubre de 2004).

Flora Mesoamericana. 2018. http://www.tropicos.org/Project/FM. (Accesado en diciembre 2018).

Missouri Botanical Graden-Base de Datos MPSA. 2018. http://www.tropicos.org/Project/MPSA. (Accesado en diciembre 2018).

Warwood, N.C. 1999. Seedlings of Barro Colorado Island and the Neotropic. London: Cornell University Press; 645 pp.

Woodson, R.E. y R.W. Schery. 1980. Flora de Panamá. St. Louis, Missouri: Botanical Garden Press; 7396 pp.

7. ANEXOS

Anexo 7.1. Vivero de plantas nativas

7.1.1. Colecta de semillas y plántulas

Para la recolecta de material genético (plántulas y semillas), que se utilizan en el proceso de restauración ecológica, se realizaron giras de campo donde se extrajeron plántulas, semillas y muestras para la identificación taxonómica de árboles y arbustos de especies de sombra y de especies pioneras dentro del área del proyecto. Las especies fueron identificadas utilizando claves taxonómicas como la Flora de Costa Rica (Hammel et. al, 2010; 2007), Flora de Panamá (Woodson y Schery, 1980), Flora Mesoamericana (http://www.tropicos.org/Project/FM, 2020), y fueron corroboradas con la ayuda de la Base de Datos de Trópicos del Missouri Botanical Garden (http://www.tropicos.org/Project/MPSA, 2020), y del Centro de Ciencias de Bosques tropicales (CTFS, por sus siglas en inglés: http://ctfs.si.edu/webatlas/maintreeatlas.php, 2020), como también guías de campo (Gentry, 1993) y libros de texto (Warwood, 2009; Pérez, 2008), referentes a la flora nativa de Panamá, específicamente, del área de la Vertiente del Caribe.

a) Semillas: se utilizaron varas de colecta para poder alcanzar los frutos de árboles altos. Las mismas fueron separadas y guardadas en bolsas de papel con los datos de registro del árbol.

b) Plántulas: se colectaron dentro del bosque o áreas abiertas y se trasladaron al vivero para su posterior siembra. Esta es una alternativa viable para lograr la reproducción de algunas especies cuyas semillas son difíciles de colectar o germinar.

7.1.2. Producción y Manejo en el Vivero

Desde el inicio del programa de restauración en el año 2014, se han producido en el vivero un total de 153,528 plántulas correspondiente a 112 especies, pertenecientes a 40 familias. Estas plantas fueron colectadas, tanto en semillas o como plántulas, en áreas abiertas (especies pioneras) como boscosas. Las instalaciones del vivero contienen cámaras con plástico de invernadero para aclimatar las plántulas que son traídas del bosque y aquellas provenientes de la germinación de semillas en las camas de arena. Las camas de arena para la germinación de semillas, fueron construidas utilizando como sustrato arena de río previamente esterilizada con la aplicación de nematicida y fungicida. Dependiendo de las especies, con semillas que requieren más cuidado al momento de germinar y de mayor tiempo de latencia, las semillas fueron sembradas utilizando sustrato orgánico proveniente del bosque y también con tierra negra y fibras de madera.

El suelo utilizado en el vivero para la siembra de plántulas que se extraen del campo y aquellas provenientes de la germinación de las semillas en las camas de germinación, comprende suelo de saprolita mesclado con cascarilla de arroz y tierra negra en una proporción de 2:1:1 (saprolita: cascarilla de arroz: tierra negra), luego es esterilizado con nematicida y fungicida; que se deja en reposo por una semana antes de ser utilizado para la siembra.

La finalidad de las cámaras de invernadero en el vivero es la de mantener la temperatura y humedad óptima, para incrementar el desarrollo y crecimiento radicular de los plantones y, además, para evitar el ataque de plagas. De esta forma se logra mejorar la calidad y resistencia de estas plantas al momento de ser sembradas en las parcelas de restauración. Dichas cámaras de invernadero también aceleran la velocidad de germinación de las semillas en las camas de germinación.

Las plantas fueron propagadas utilizando un sistema de raíz dirigida, basado en tubetes de varias dimensiones, los cuales favorecen el crecimiento de las raíces y aseguran la sobrevivencia de cada una de las plantas. También son utilizadas bolsas de siembra para aquellos plantones que son colectados de mayor tamaño.

Las plántulas provenientes de la germinación de las semillas en las camas de germinación, se sembraron en los tubetes que contenían sustrato con compostaje y permanecieron en áreas de sombra dentro del vivero por un tiempo aproximado de tres semanas, luego fueron pasadas al sol de forma paulatina, en donde permanecieron el tiempo requerido que les permitiera completar su aclimatación antes de ir a las parcelas. Las plantas que salgan al campo deben tener entre 25 y 50 cm de altura, con un alto nivel de desarrollo radicular, foliar y del tallo, que les permita resistir las condiciones ambientales existentes en las parcelas.

Las plantas fueron podadas cada cierto tiempo (2-4 semanas), tanto las que permanecen dentro del vivero como la que están expuestas al sol. La poda de las plántulas consiste en remover aquellas hojas secas y con presencia de patógenos (hongos, bacterias y virus), para evitar contaminar el resto de las plantas. Esta operación se realizó a primeras horas de la mañana, a media tarde o en días nublados; con el cuidado de evitarle a la planta un estrés a causa de la luz directa del día.

También son fertilizadas con fertilizante líquido biológico y fertilizante foliar, y fumigadas con insecticida y fungicida mensualmente.

Anexo 7.2. Registro Fotográfico

Actividades realizadas en parcela MSA (código B-PRE-009)



A. Medición de altura de plantas.



B. Búsqueda y monitoreo de plantas.



C. Resiembra de plantones



D. Vista parcial de parcela MSA.

Ensayos con fertilizantes en la parcela del Tajo Botija, Botadero Sur B-PRE-37



A. Individuo de Muntingia calabura en floración



B. Monitoreo de plantones.

Monitoreo y mantenimiento de parcela de siembra directa de plantas extraídas de la vegetación aledaña a la parcela del Tajo Botija, Botadero Sur, B-PRE-43



A. Mantenimiento de parcela B-PRE-32.



B. Monitoreo de plantas de ensayo de siembra directa.

Actividades de restauración



A. **Colecta de plantones.**



B. Búsqueda de suelo para preparación de sustrato para plantas.

Ensayo con capa orgánica en Botadero Sur.



A. Establecimiento de cuadrante para prueba de capa orgánica



B. . Extracción de capa orgánica del fragmento de bosque.



C. Colocación de capa orgánica en subcuadrante.



D. Establecimiento de cuadrante 3x9 m en parcela B-PRE-42.

Anexo 2. Localización de parcelas de restauración.

Parcela Km 19 Pipeline Road (B-PRE-002)	
2015	2022
Parcela Km 18. Costal Road (B-PRE-003)	
2015	2022
Parcela MSA (B-PRE-009)	
Parcelas experimentales del Tajo Botija	
2021	2022